

УДК 534.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ КИНЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Белоцерковский А.Б., Трубаев А.И. канд.техн.наук

(г. Харьков, Украина)

*The analysis of stress-strain condition of piping system under kinematic forces using the finite element method has been carried out. Displacements of nodes of the finite element model are determinated by the spectrum method. The general purpose programming complex COSMOS/M is used for receiving of results.*

Рассматриваются вынужденные колебания трубопроводных систем при кинематическом воздействии, заданном акселерограммами. Задача решается на основе метода конечных элементов в форме перемещений. В качестве конечного элемента используется прямолинейный стержень кольцевого поперечного сечения [1]. Влияние потока транспортируемой среды на динамические свойства системы не учитывается. Демпфирование в системе моделируется вязким трением. Предполагается, что при кинематическом воздействии все опоры трубопровода испытывают одинаковое ускорение [2]. Уравнение, описывающее движение конечно-элементной модели трубопровода, имеет вид

$$[M]\{\ddot{y}\} + [R]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = -[M]\{N\}\ddot{y}_0(t) \quad (1)$$

Здесь  $[M]$ ,  $[R]$ ,  $[K]$  – матрицы инерции, демпфирования и жесткости конструкции соответственно;  $\{y\}$  – вектор узловых перемещений;  $\ddot{y}_0(t)$  – ускорение опор системы;  $\{N\}$  – вектор, содержащий направляющие косинусы перемещений опор в общей системе координат.

Проведено исследование напряженно-деформированного состояния трубопровода турбоустановки (рис. 1) при кинематическом воздействии, заданном акселерограммами. Для компоненты ускорения вдоль осей ОХ, ОУ и ОZ каждого жестко закрепленного узла задавалась одинаковая

акселерограмма:  $\ddot{y}_0 = 1 \cdot \sin 20t$  м/с<sup>2</sup>. Возмущенное движение системы определяется на основе разложения в ряд по формам собственных колебаний.

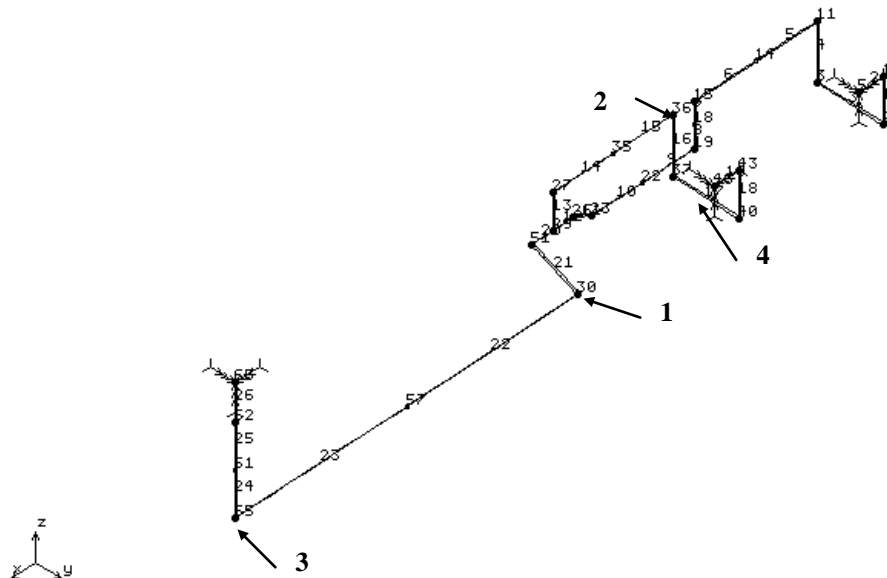


Рис. 1. Конечно-элементная модель конструкции трубопровода.

Трубопровод имеет следующие характеристики: наружный диаметр 0.42 м; толщина стенки 0.015 м; погонный вес 147.15 н/м; модуль Юнга  $1.962 \cdot 10^{11}$  Па. Система разбивалась на 26 и 52 конечных элементов (КЭ).

Результаты расчета собственных колебаний более подробно изложены в [2]. Первые пять собственных частот имеют следующие значения:  $\nu_1=6.456$  Гц,  $\nu_2=6.725$  Гц,  $\nu_3=12.193$  Гц,  $\nu_4=15.269$  Гц,  $\nu_5=17.293$  Гц.

Максимальное перемещение трубопровода при вынужденных колебаниях достигается в узле № 30 (см. рис. 1, сечение 1), в направлении оси ОУ, в момент времени  $t=0.22$  с. График узлового перемещения приведен на рис. 2.

Максимальные сила и момент наблюдаются в узлах с номерами 36 и 65 конечно-элементной модели конструкции (см. рис. 1, сечения 2, 3) в направлении оси ОУ, в момент времени  $t=0.22$  с. Графики изменения во времени узловой силы и момента подобны, поэтому на рис. 3 приведен только график изменения узловой силы.

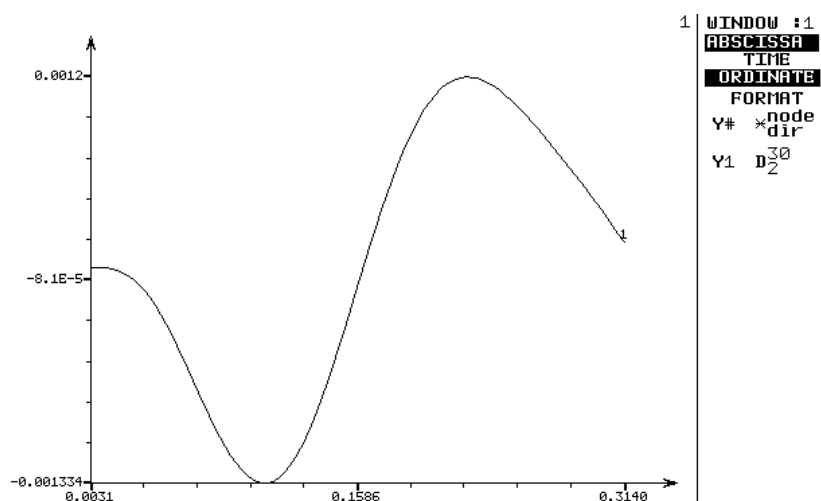


Рис. 2. Перемещение узла № 30 (м).

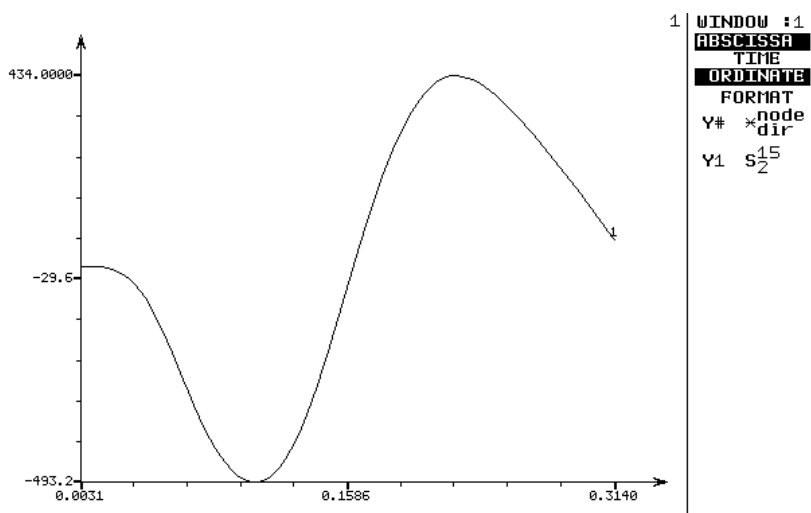


Рис. 3. Сила в узле № 36 (н).

Из рис. 2. видно, что колебания происходят с частотой внешнего воздействия  $\omega=20 \text{ с}^{-1}$ , что соответствует случаю низкочастотного возбуждения ( $\omega < p_1 \approx 41 \text{ с}^{-1}$ ).

Максимальная интенсивность напряжений для момента времени  $t=0.22 \text{ с}$  достигается на элементе № 17 26-ти-элементной модели (см. рис.1, сечение 4).

В таблице 1 представлены максимальные значения параметров напряженно-деформированного состояния, полученные при расчете

трубопровода с использованием двух сеток разбиения на КЭ (26 и 52), с учетом десяти собственных форм колебаний.

Таблица 1. Компоненты напряженно-деформированного состояния при учете десяти форм колебаний.

Название	Максимальное значение при числе КЭ: 26 и 52		Погрешность $\delta$ в %
Перемещение, $\text{м} \cdot 10^{-3}$	1.172	1.193	1.8
Сила, н	434	449	1.4
Момент, н·м	1365	1372	0.5
Интенсивность напряжений, Па	101135	102788	1.6

Значения максимальных перемещения, силы, момента и интенсивности напряжений в зависимости от числа учитываемых собственных форм колебаний приведены в таблице 2.

Таблица 2. Компоненты напряженно-деформированного состояния в зависимости от числа форм колебаний.

Число форм колебаний	Перемещение, $\text{м} \cdot 10^{-3}$	Сила, н	Момент, н·м	Интенсивность напряжений, Па
1	1.081	405.4	1039	91773
5	1.192	439	1086	101733
10	1.172	434	1365	101135
15	1.171	440.8	1372	100582

Как видно из результатов, представленных в табл. 1 и 2, для исследования напряженно-деформированного состояния конструкции достаточно использовать 26-ти-элементную модель и 10 учитываемых форм колебаний.

**Список литературы:** 1. Постнов В.А., Хархурим И.Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1974.– 341с. 2. Белоцерковский А.Б., Трубаев А.И. Расчет вынужденных колебаний трубопроводов при сейсмическом воздействии с использованием различных программных средств. – Вісник інженерної академії України. Вип. 2000.